

カキの成熟時期における葉果比が果実の 放射性セシウム濃度に与える影響

堀井 幸江^{*1), *2)}・草場新之助^{*1)}・関澤 春仁^{*3)}・八戸 真弓^{*4)}・濱松 潮香^{*5)}
松波 寿弥^{*2)}・野中 章久^{*2)}・村上 敏文^{*6)}

抄 録：葉からカキ果実への放射性セシウムの移行を検証するため、収穫2ヶ月前の摘葉処理がカキ果実の¹³⁷Cs濃度に及ぼす影響を調査した。摘葉処理を行った9月中下旬から収穫期の間に葉の¹³⁷Cs濃度は低下した。一方、同期間に1果実あたりの¹³⁷Cs含量は上昇した。また、摘葉の程度により果実の¹³⁷Cs濃度や1果実あたりの¹³⁷Cs含量に差は認められなかった。以上のことから、フォールアウトから5年経過したカキにおいては、葉から他の器官への¹³⁷Csの転流は認められたが、収穫2ヶ月前以降の葉果比が果実の¹³⁷Cs濃度に与える影響は明らかではなかった。

キーワード：カキ果実、放射性セシウム、摘葉処理

Effect of Number of Leaves per Fruit on Radiocesium Concentration of Japanese Persimmon Fruits in Maturation Period: Sachie HORII^{*1), *2)}, Shinnosuke KUSABA^{*1)}, Haruhito SEKIZAWA^{*3)}, Mayumi HACHINOHE^{*4)}, Shioka HAMAMATSU^{*5)}, Hisaya MATSUNAMI^{*2)}, Akihisa NONAKA^{*2)} and Toshifumi MURAKAMI^{*6)}

Abstract : We investigated the influence of defoliation on the ¹³⁷Cs concentration of mature Japanese persimmon fruits to verify the involvement of radiocesium translocation from leaves to fruit. The ¹³⁷Cs concentration of leaves was decreased during harvest time from the middle of September. The ¹³⁷Cs contents in one fruit were increased during harvest time from the middle of September. The degree of defoliation had no effect on the ¹³⁷Cs concentration of fruits and ¹³⁷Cs contents in one fruit. These results indicated that the effect of number of leaves per fruit on ¹³⁷Cs concentration of the fruits was not clear.

Key Words : Japanese persimmon fruits, radiocesium, defoliation

I 緒 言

干し柿の一種である「あんぽ柿」は福島県の主要な特産加工品である。2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の

事故の後、製品の放射性セシウム（以下放射性Cs）濃度が一般食品の基準値を上回る事例があったことから、主産地である福島県県北地域においては2年間生産が自粛された。これらの地域の落葉果樹園地では、収穫果実の放射性Cs濃度を低減させるため、

*1) 農研機構果樹茶業研究部門 (Institute of Fruit Tree and Tea Science, NARO, Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan)
*2) 農研機構東北農業研究センター (Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Fukushima, Fukushima 960-2156, Japan)
*3) 福島県農業総合センター (Fukushima Agricultural Technology Centre, Koriyama, Fukushima 963-0531, Japan)
*4) 農研機構食品研究部門 (Food Research Institute, NARO, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan)
*5) 現・農研機構本部 (NARO Headquarters, Tsukuba, Ibaraki 305-8517, Japan)
*6) 現・東京農業大学 (Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka, Setagaya, Tokyo 156-8502, Japan)
2018年6月22日受付、2018年10月1日受理

事故当年の2011年の秋から2012年の春にかけて高圧洗浄機を用いた樹体洗浄や粗皮削りにより樹体表面に付着した放射性物質の除染が行われた。カキの樹体洗浄は、他の樹種よりも収穫果実の放射性Cs濃度の低減効果が大きく (Sato *et al.* 2015)、その効果は除染5年後も維持されている (額田ら 2016) ことが報告されている。

2013年以降、樹体洗浄の効果や放射性Csの物理的減衰により、原料果の放射性Cs濃度が低下している (八戸ら 2015)。福島県北地域では、ほ場単位で原料果の幼果期検査 (基準: 放射性Cs濃度 10 Bq/kg 以下) や収穫期検査 (同左7 Bq/kg 以下) を実施することで、あんぽ柿に加工しても放射性Cs濃度が十分に低いと想定されるほ場を「加工再開モデル地区」として設定してきた。「加工再開モデル地区」で収穫し、かつカキ果実を「安全なあんぽ柿生産のための農業生産工程管理 (GAP) 実践マニュアル」(福島県あんぽ柿産地振興協会 2014) に基づいて加工することを条件に、2013年から加工・生産・出荷が再開された。また、出荷再開に際しては、非破壊検査機による全量検査体制が整えられており、これらのあんぽ柿の基準値超過の監視体制の構築とその広報により、出荷量は年々増加し、2016年度は事故前の約75 % にあたる1,154 t (福島県あんぽ柿産地振興協会調べ) が出荷された。しかし、0.07 % と割合は極めて低いものの出荷前の全量検査によってスクリーニングレベル (50 Bq/kg) を超過したため廃棄処分された製品も存在している (JA全農福島あんぽ柿「検査情報」)。一方、「加工再開モデル地区」としての条件が満たされず、現在も加工を自粛しているほ場も存在している。このため、あんぽ柿で放射性Cs濃度が高まる要因の解析が求められている。

あんぽ柿の放射性Cs濃度が高まる要因として、まず、乾燥加工中の放射性Csの付着が考えられる。そこで、干し場での乾燥加工工程時の二次汚染について調査が行われた。原発事故時に屋外に設置されていた被覆資材からは高濃度の放射性Csが検出され、干し場の吊り棚パイプや床などには不均一に放射性Csが付着していたが、汚染されたパイプや床などの構造物にカキが接触することがなければ乾燥加工工程における二次汚染のリスクは低いと考えられた (佐藤ら 2016)。さらに前述のマニュアルに基づき、清掃後の干し場環境は生産者によって衛生的に管理されていることから、乾燥加工工程における二次汚染がスクリーニングレベル超過の主要因とは考えにくい。付着以外の主要因として、環境条件の違いや栽培管理方法によって、原料果の放射性Cs濃度が高くなることが考えられる。あんぽ柿の放射性Cs濃度は原料果の濃度の概ね4倍になることが明らかとなっており (丹治・関澤 2012、濱松ら 2017)、あんぽ柿の放射性Cs濃度を低く抑えるためには原料果の放射性Cs濃度が低いことが前提となる。原料果への放射性Cs移行経路は、放射性物質のフォールアウトを受けた樹体や葉などの地上部器官に含まれる放射性Csの転流と、土壌に含まれる放射性Csの経根吸収の2通りが考えられるが、果樹では地上部からの転流が主体である可能性が示唆されている (Carini *et al.* 1999、高田ら 2012a、Sato *et al.* 2015)。

果樹では果実近くの葉が光合成産物の供給の面で重要な役割を果たしていることが知られている (松井 1989、元村 1997)。カキ「富有」では、台風の襲来により9月に落葉した樹体の果実の糖含量が、落葉しなかった樹体の果実より劣ることが報告されており (中条 1970)、放射性Csについても光

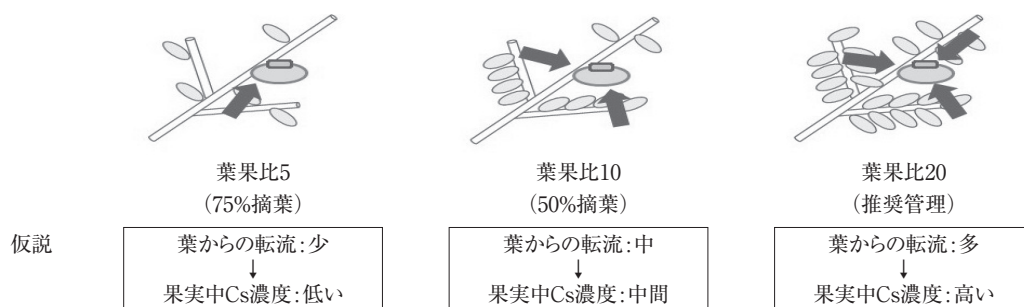


図1 摘葉処理の概要

合成産物と同様に葉から果実に移行する可能性が考えられた。これまで、カキにおいて葉から果実への放射性Csの転流について調査した例は少ないことから、本研究ではカキの葉から果実への放射性Csの転流の影響を検証するため、収穫2ヶ月前の摘葉処理がカキ果実の ^{137}Cs 濃度に及ぼす影響を調査した。秋季摘葉によって、摘葉時期が早く摘葉量が多いほど、翌年の樹体の物質代謝や果実の全糖量等が低下することが報告されており、9月中旬の50%摘葉処理では、果実重量が無摘葉区と比較して8割程度であった(平田・黒岡 1974)。カキでは品種によっても異なるが、葉果比約20が標準管理とされている(文室 1997)。そこで本試験では、摘葉の程度は葉果比5、10および20とし、9月中下旬に摘葉を行った(図1)。また、カキ樹体内での放射性Csの挙動を、Csと同属の必須元素であり葉や果実内の挙動が既に調査されているカリウムと比較するため、葉や果実の ^{40}K 濃度を調査した。

II 材料と方法

福島県内の現地農家は場に植栽されている約15年生のカキ「蜂屋」2樹を調査対象とした。当該ほ場では、2011年の冬に、高圧洗浄機を用いた樹体洗浄が行われた。樹形は変則主幹形で、施肥・防除は福島県の栽培指針に基づき管理されている。土壌の採取は、樹冠下4カ所より直径3.0 cmのライナー採土器を用いて深さ20 cmまでの土壌を採取し全て混合した。乾燥後2 mmの篩にかけ、U8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器(GC2520-7500SL、CANBERRA、USA)で、放射性Csのうち ^{137}Cs 濃度を測定した。本研究では、放射性Cs濃度は、物理的減衰により ^{134}Cs 量が大きく低下していることから、 ^{137}Cs のみで評価した。土壌の測定時間は、試料測定時の計数統計に起因する不確かさが、測定値の5%以下になるまでとした。土壌pHおよび交換性カリ含量は、pHメーター(F-71、株式会社堀場製作所、京都)、および原子吸光光度計(ZA-3000、株式会社日立ハイテクサイエンス、東京)を用いて測定した。

摘葉処理は、収穫の約2ヶ月前(2016年9月16日および2017年9月22日)に行った。主幹に発生した骨格枝ごとに葉果比(葉の枚数/果実の個数)が5、10、20となるように葉もしくは幼果を取り除き、各樹において2セット設定した(図1)。全ての処理

区において、果実に隣接する葉は摘葉を行っていない。2017年は2016年と同一樹を調査に用いたが、葉果比の処理区は前年の処理区とは異なるように設定した。サンプリングは、着果果実赤道部の果皮色を収穫の目安に用いるカキ用カラーチャート(農林水産省果樹試験場監修)を用いて調査し、葉果比5区の果皮色がカラーチャート値約6の時点を取穫初期、その約1ヶ月後を取穫末期とした。果実の採取は、摘葉処理時、取穫初期(2016年11月17日および2017年10月30日)および取穫末期(2016年12月8日および2017年11月29日)に行った。果実は、各骨格枝から2果採取した。葉は、摘葉処理時および取穫初期に樹体ごとにまとめて採取した。

採取した果実は、剥皮してへたおよび種子を取り除いた後、80℃に設定した通風乾燥機で重量変化がなくなるまで乾燥し、粉碎器(Wonder Crush/Mill D3V-10、大阪ケミカル(株)、大阪)で微粉末にした。同一骨格枝から採取した2果を混合して、U8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器(GC2020-7500SL、GC2520-7500SL、GC4020-7500SL、CANBERRA、USA)を用いて ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度を測定した。果実および葉の測定時間は、 ^{137}Cs 濃度の測定において、試料測定時の計数統計に起因する不確かさが、測定値の10%以下になるまでとし、 ^{137}Cs 濃度は、試料採取日を基準日として減衰補正した。採取した葉は、乾燥後粉碎し、果実と同様に ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度を測定した。

取穫初期および取穫末期に採取した果実は、 ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度を測定するとともに、果実品質(果実重量、果皮色)についても評価した。果皮色は、カキ用カラーチャートを用いて、果実赤道部を目視で評価した。統計解析はJMP13(SAS)を用いた。

III 結 果

1 土壌の土性および物理化学的特性

土壌は細粒質普通褐色低地土壌で、土性はSC(砂55.5%, シルト18.4%, 粘土26.1%)であった。2016年調査時の土壌pH(H_2O)、 ^{137}Cs 濃度および交換性カリ含量は、それぞれ6.1(18.6℃)、1,768 Bq/kg、および24.3 mgK₂O/100gであった。

2 葉の ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度

表1に葉の ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度を示した。2017年の葉の ^{137}Cs 濃度は、試料採取時期によらず

表1 葉の¹³⁷Csおよび⁴⁰K濃度の変化

調査年	調査時期	¹³⁷ Cs 濃度 (Bq/kg DW) ^{a)}	⁴⁰ K 濃度 (Bq/kg DW) ^{a)}
2016年 ^{b)}	摘葉処理時	51.0 a	886 a
	収穫初期	32.5 b	627 b
2017年 ^{b)}	摘葉処理時	26.5	810 a
	収穫初期	19.8	623 b
調査年平均 ^{c)}			
	2016年	42.8 A	783
	2017年	23.1 B	717
調査時期平均 ^{c)}			
	摘葉処理時	40.1 A	856 A
	収穫初期	26.1 B	625 B
分散分析			
調査年		**	n.s.
調査時期		**	**
交互作用		n.s.	n.s.

a) DW: 乾燥重量。

b) 結果は平均値で、同一年度内の異なるアルファベット (小文字) には t 検定により有意差があることを示す (P<0.01)。n=6。

c) 結果は平均値で、異なるアルファベット (大文字) には Tukey-Kramer 法により有意差があることを示す (P<0.01)。

n.s.: 有意差なし。**: 1% 水準で有意差あり。

2016年と比較して有意に低下した。2016年9月16日から2017年9月24日までの期間に、葉の¹³⁷Cs濃度は、51.0 Bq/kg から26.5 Bq/kg まで48.0 % 低下し、この期間の¹³⁷Csの物理的な減衰率が2.3 % である事を考えると、その低下率は著しく大きかった。また、両年を平均した調査時期平均を比較すると収穫初期の葉の¹³⁷Cs濃度は、摘葉処理時と比較して有意に低下していた。⁴⁰K濃度は、調査年による差はみられず、摘葉処理時から収穫初期までの間に有意に低下していた。

3 果実品質

表2に果実重量、果皮色および含水率のデータを示した。2017年の平均果実重量は195.1 g で、2016年の245.6 g に比べて有意に低かった。調査年によらず収穫初期と収穫末期の果実重量に有意な差はなかった。葉果比平均を比較すると葉果比を5に調整した骨格枝 (葉果比5区) に着果した果実の果実重量は197.4 g で、葉果比20区の218.9 g と比べて有意に小さかった。調査年と摘葉の処理に交互作用が認められ、葉果比により果実重量に有意な差が認められたのは、2017年の収穫末期のみであったが、2016年の収穫末期を除いて、調査年および調査時期にかかわらず、葉果比5区は10区および20区と比較して小さい傾向がみられた。

2017年の果皮色のカラーチャート値は、2016年に比べて高かった。両年を平均した調査時期平均をみると、収穫末期のカラーチャート値は6.2 で、収穫初期の5.8 と比較して有意に高かった。2016年では、葉果比5区のカラーチャート値は葉果比10区および20区と比べて高かったが、2017年では摘葉処理区間で差がみられなかった。

2017年の含水率は2016年に比べて高かった。両年とも、調査時期が遅くなるほど含水率が低下した。摘葉処理時の含水率は86.3 % で、収穫期の含水率よりも高かった。調査年および調査時期にかかわらず、葉果比10区の含水率は20区より低い傾向がみられた。

4 果実の¹³⁷Cs濃度および⁴⁰K濃度

表3に果実の¹³⁷Cs濃度および⁴⁰K濃度を示した。果実の新鮮重量および乾燥重量あたりの¹³⁷Cs濃度は、調査年による差はみられなかった。新鮮重量あたりの¹³⁷Cs濃度は、摘葉処理時に 3.14 Bq/kg で、収穫初期および収穫末期に、それぞれ4.21 Bq/kg および4.32 Bq/kg に有意に増加していた。一方、乾燥重量あたりの¹³⁷Cs濃度には調査時期による差は認められなかった。乾燥重量あたりの¹³⁷Cs濃度は、摘葉処理時よりも収穫期に2016年には低下し、2017年には上昇する傾向がみられた。1果実あたりの¹³⁷Cs含量は、摘葉処理時と収穫初期および収穫末期の間に有意に増加していたが、調査年と調査時期の間に交互作用が認められたため、特定の年度にのみ認められる可能性があった。収穫初期から収穫末期の期間の増減の傾向が2016年と2017年では異なったが、摘葉処理時と収穫初期および収穫末期間には摘葉処理の程度にかかわらず1果実あたりの¹³⁷Cs含量が明らかに増加しており、その増加は2016年および2017年の両年で認められた。しかしながら、摘葉処理の影響については、新鮮重量および乾燥重量あたりの¹³⁷Cs濃度、および1果実あたりの¹³⁷Cs含量に処理区間で2016年の収穫末期の乾燥重量あたり¹³⁷Cs濃度を除き差はみられなかった。

2017年の果実の⁴⁰K濃度は、2016年より有意に高かった。新鮮重量あたりの⁴⁰K濃度は、摘葉処理時よりも収穫初期および収穫末期の方が有意に高かったが、収穫初期と収穫末期の間には有意な差はみられなかった。1果実あたりの⁴⁰K含量は摘葉処理時に比べ収穫初期、および収穫末期に有意に増加していた。しかし、乾燥重量あたりでは、果実の⁴⁰K濃

表2 果実品質の変化

調査年	調査時期	葉果比	果実重量(g)	カラーチャート値 ^{a)}	含水率(%)
2016年 ^{b)}	摘葉処理時		151.8	－	88.0
	収穫初期	5区	210.0	6.2 a	82.5
		10区	262.2	5.1 ab	81.7
		20区	232.6	4.7 b	82.5
	収穫末期	5区	246.3	6.8 a	81.5
		10区	263.0	5.5 b	80.8
		20区	244.7	5.0 b	81.6
2017年 ^{b)}	摘葉処理時		118.4	－	84.5
	収穫初期	5区	183.3	6.1	82.7 b
		10区	194.4	5.9	83.2 ab
		20区	198.0	6.1	83.7 a
	収穫末期	5区	185.7 b	6.5	82.9
		10区	189.4 b	6.3	82.2
		20区	217.3 a	6.4	82.8
調査年平均 ^{c), d)}	2016年		245.6 A	5.5 B	81.8 B
	2017年		195.1 B	6.2 A	82.9 A
調査時期平均 ^{c)}	摘葉処理時		144.5 B	－	86.3 A
	収穫初期		208.6 A	5.8 B	82.7 B
	収穫末期		214.1 A	6.2 A	82.0 C
葉果比平均 ^{c)}	5区		197.4 B	6.4 A	82.5 AB
	10区		217.4 AB	5.8 B	82.0 B
	20区		218.9 A	5.8 B	82.6 A
分散分析					
調査年			**	**	**
調査時期			**	**	**
葉果比			*	**	**
交互作用	年×調査時期		n.s.	n.s.	n.s.
	年×葉果比		*	**	n.s.
	調査時期×葉果比		n.s.	n.s.	n.s.
	年×調査時期×葉果比		n.s.	n.s.	n.s.

a) カラーチャート値は、数値が大きいくほど果実が成熟し赤色度が増す。

b) 結果は平均値で、同一年度かつ同一調査時期内の異なるアルファベット（小文字）には Tukey-Kramer 法により有意差があることを示す（ $P<0.05$ ）。2016年の葉果比5区は収穫適期・末期とも $n=6$ 、その他の処理区は $n=8$ 。c) 結果は平均値で、異なるアルファベット（大文字）には Tukey-Kramer 法により有意差があることを示す（ $P<0.05$ ）。n.s.: 有意差なし。*: 1% 水準で有意差あり。*: 5% 水準で有意差あり。

d) 調査年平均値は、摘葉処理時のデータを除く。

度は調査時期による差は認められなかった。摘葉処理は果実の⁴⁰K濃度には影響を与えなかったが1果実あたりの⁴⁰K含量は、葉果比5区に比べ葉果比20区の方が有意に多かった。

IV 考 察

1 葉における¹³⁷Cs濃度および⁴⁰K濃度の変動

2017年のカキの葉の¹³⁷Cs濃度は、調査年平均では2016年より約46 % 低下した。この低下率はこの間の¹³⁷Csの物理的減衰率（3 % 弱）よりも著しく大きかった。果樹では数年程度の短期間における樹体の¹³⁷Cs濃度の低下については、果実の採取、枝の剪定、落葉や樹皮の落下などによる樹体外への持ち出

しや、植物の生長に伴う希釈効果が主要因として考えられており（高田ら 2012b、田上・内田 2014）、経年による葉の¹³⁷Cs濃度の低下はこういった要因が影響していることも考えられる。

一方、経年による低下だけでなく、同一年内の展葉から落葉までの生育ステージの進行により、カキの葉の¹³⁷Cs濃度は低下する傾向が認められており（佐藤ら 2012、田上・内田 2016）、本研究においても、収穫初期の葉の¹³⁷Cs濃度は、摘葉処理時の¹³⁷Cs濃度と比較して有意に低下していた（表1）。カキの葉内の乾燥重量あたりのカリウム含量は、展葉直後にすでに高い値を示し、その高い含量を萌芽後25週（9月）まで維持した後、急激に減少して落

表3 果実の ^{137}Cs および ^{40}K 濃度の変化

調査年	調査時期	葉果比	¹³⁷ Cs 濃度		¹³⁷ Cs 含量 (Bq/ 果)	⁴⁰ K濃度		⁴⁰ K 含量 (Bq/ 果)
			(Bq/kg FW) ^{a)}	(Bq/kg DW) ^{a)}		(Bq/kg FW) ^{a)}	(Bq/kg DW) ^{a)}	
2016年 ^{b)}	摘葉処理時		3.32	27.82	0.41	48.5	405.7	6.0
	収穫初期	5区	4.87	27.76	0.82	60.4	344.3	10.3
		10区	3.84	20.97	0.83	61.3	335.8	13.1
		20区	3.75	21.39	0.70	57.6	329.5	10.8
	収穫末期	5区	5.63	30.49 a	0.99	65.8	356.4	11.9
		10区	4.17	21.69 b	0.87	61.1	318.8	12.7
		20区	4.39	23.77 ab	0.91	66.0	357.2	13.7
2017年 ^{b)}	摘葉処理時		2.97	19.12	0.30	58.3	376.2	6.0
	収穫初期	5区	3.81	22.50	0.67	63.8	376.3	11.1
		10区	4.54	26.75	0.80	69.5	410.3	12.6
		20区	4.59	24.47	0.83	79.4	447.7	14.5
	収穫末期	5区	4.51	26.33	0.73	70.0	408.9	11.4
		10区	3.99	23.24	0.68	68.0	394.9	11.7
		20区	3.55	20.86	0.68	69.3	406.9	13.4
調査年平均 ^{c)}	2016年		4.14	24.75	0.75 A	59.1 B	353.6 B	10.9
	2017年		3.93	23.47	0.65 B	67.7 A	405.3 A	11.2
調査時期平均 ^{c)}	摘葉処理時		3.14 B	23.47	0.36 B	53.4 B	390.9	6.0 B
	収穫初期		4.21 A	24.36	0.77 A	65.6 A	380.6	12.1 A
	収穫末期		4.32 A	24.13	0.80 A	66.7 A	374.6	12.5 A
葉果比平均 ^{c)}	5区		4.63	26.43	0.79	65.3	374.5	11.2 B
	10区		4.13	23.16	0.79	65.0	364.9	12.5 AB
	20区		4.07	22.50	0.78	68.1	393.0	13.1 A
分散分析								
調査年			n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.
調査時期			**	n.s.	**	**	n.s.	**
葉果比			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
交互作用	年×調査時期		n.s.	n.s.	*	n.s.	**	n.s.
	年×葉果比		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	調査時期×葉果比		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	年×調査時期×葉果比		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

a) FW：新鮮重量。DW：乾燥重量。

b) 結果は平均値で、同一年度かつ同一調査時期内の異なるアルファベット（小文字）には Tukey-Kramer 法により有意差があることを示す（ $P<0.05$ ）。2016年の葉果比5区は収穫適期・末期とも $n=3$ 、その他の処理区は $n=4$ 。c) 結果は平均値で、異なるアルファベット（大文字）には Tukey-Kramer 法により有意差があることを示す（ $P<0.05$ ）。n.s.：有意差なし。*: 1%水準で有意差あり。*: 5%水準で有意差あり。

葉期を迎えるとされており（福井 1998）、本研究でも収穫初期の葉の ^{40}K 濃度は、摘葉処理時と比較して有意に低かった。田上・内田（2016）はカキ葉の ^{40}K 濃度は季節にかかわらず一定であったが、落葉の ^{40}K 濃度は生葉と比べて低下していると報告している。本研究の収穫初期は落葉直前であり、落葉の状態に近い時期であったと考えられる。

葉の ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度のいずれもが収穫初期に摘葉処理時と比較して有意に低かったことから、モモ（高田ら 2016）やカキ（田上・内田 2016）で示唆されているように、葉中の ^{137}Cs や ^{40}K の一部は樹体内に再分配されていると思われる。

2 摘葉処理が果実品質に及ぼす影響

早期に摘葉処理すると果実品質が劣り、摘葉量が多い程、果実重量や糖含量が低くなることが報告されている（平田・黒岡 1974）。本研究においても、2016年の収穫末期を除いて、葉果比5区すなわち摘葉量が多い処理区で果実重量が低くなる傾向がみられた（表2）。このことから、本試験で行った摘葉処理は少なくとも果実品質に影響を与える条件であったと考えられる。摘葉処理時期が9月下旬の場合、次年度の果実重量が無摘葉樹の7～8割程度になるとの報告がある（平田・黒岡 1974）。本研究では摘葉の程度にかかわらず、標準管理の葉果比20

区でも、2017年度に果実重量が2016年の8割程度に低下した。2016年の着果期間が長く、着果数が多かったため、樹体全体で貯蔵養分が低下していた可能性がある。果皮色は、平田・黒岡（1974）の報告とは逆に葉果比5区でカラーチャート値が高く、赤色度が高い傾向がみられた。カキではリコペン含量が多くなると果皮の赤色が強くなり、リコペンの蓄積には秋季の気温と光が関与する（中条 1971）と言われているが、葉果比5区でカラーチャート値が高かった理由は不明である。

3 果実の ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度の変動

果実の ^{137}Cs 濃度には調査年による差はみられなかった。事故から5年以上が経過して、カキ以外の果樹においても、経年による果実の ^{137}Cs 濃度の低下率は、縮小してきている（小野ら 2018）。葉では、2017年に ^{137}Cs 濃度が有意に低下したにもかかわらず、果実では調査年による差がみられなかった。2017年は果実肥大が劣ったことや、同一枝内に着果した果実であっても、個々の果実の ^{137}Cs 濃度に差があることが報告されており（濱松ら 2017）、個々の果実の ^{137}Cs 濃度のばらつき等も影響している可能性がある。

果実の新鮮重量あたりの ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度は、摘葉処理時と収穫期の間に有意に増加した。しかし、乾燥重量あたりでは、摘葉処理時と収穫期の間に差は認められなかった。果実の含水率は、摘葉処理時には86.3 %、収穫期は82.5 % で生育ステージが進むにつれて低下した。田上・内田（2014）の報告でもサンプリング時期によって、果肉の含水率が異なることが示されている。さらにカキでは果実が急速に肥大して果実重量が増加する生長第3期と呼ばれる時期にsink activity が強まることが報告されている（傍島ら 1976）。これらの報告に示されているように、収穫期が近づくにつれ光合成産物や無機養分の転流が増加したものと思われる。その結果、果実の含水率が低下したことが、摘葉処理時と収穫時期の間で検出された果実の新鮮重量あたりの ^{137}Cs および ^{40}K 濃度の有意差が果実の乾燥重量あたりでは検出されなかった要因の一つと考えられるが ^{137}Cs の転流についてのさらなる調査が必要である。

本研究では、1果実あたりの ^{137}Cs 含量が調査年によって異なったが、2年の調査結果であるため、着果量や果実重量の影響を配慮した上で、調査を継続する必要がある。1果実あたりの ^{137}Cs および ^{40}K 含

量について、 ^{137}Cs は2016年の方が多く、 ^{40}K は2017年の方が若干多い傾向があり、 ^{137}Cs と ^{40}K は挙動が異なる可能性が示唆された。

4 摘葉処理が果実の ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度に及ぼす影響

葉の ^{137}Cs 濃度は摘葉処理時から収穫期の間に低下するものの、葉果比の処理区の間で ^{137}Cs 濃度、1果実あたりの ^{137}Cs 含量に差がみられなかった。葉果比の低い区で、果実重量が低い傾向がみられたことから、摘葉処理は少なくとも果実品質に影響を及ぼす条件であったと考えられる。一方、新鮮重量および乾燥重量あたりの ^{137}Cs 濃度、および1果実あたりの ^{137}Cs 含量には、摘葉処理による差はみられなかったことから、成熟時期における果実周辺の葉から果実への ^{137}Cs 転流量は、果実に隣接しない周辺葉に含まれる ^{137}Cs 量に直接依存しないと考えられた。葉果比5区では、果実の ^{137}Cs 濃度が高い傾向がみられたが、果実重量が低かったことから、過度の摘葉による果実の成熟異常が発生した可能性があり、これが ^{137}Cs の転流に影響を及ぼした可能性も否定できない。また葉果比の高い処理区と比較して葉果比の低い処理区で、 ^{137}Cs 濃度は高く ^{40}K 濃度は低い傾向が認められたことから、葉果比に起因する移行においても、 ^{137}Cs と ^{40}K では果実への転流割合や移行経路が異なる可能性が考えられる。

佐藤ら（2018）は、カキ、ブドウ、およびオウトウの葉に ^{137}Cs を塗布し、カキは ^{137}Cs の葉への付着率が高く、果実に隣接する葉から果実への分配割合が高いことを報告している。さらに、6月下旬から収穫期までの長期間にわたり着果枝内における葉から果実への移行も、詳細に報告されている。収穫2ヶ月前に摘葉処理を行った本研究では、葉果比が果実の ^{137}Cs 濃度に及ぼす影響を明らかにすることはできなかった。葉と果実の距離に着目して、果実の ^{137}Cs 濃度を生育ステージ別に調査することにより葉から果実への ^{137}Cs の移行について新たな知見を得ることができるとと思われる。

地上部からの放射性Csの転流以外の移行経路として経根吸収があるが、2011年に行われたモモの圃場調査では、土壌（30 cm深）に含まれる ^{137}Cs の93 % が、表層3 cmに存在し、この時6年生以上のモモの根は地表下20 cm以深に存在するため、被災当年から数年間の根からの経根吸収量はわずかであると述べられている（Sato et al. 2015）。カキの根の

- h24_radiologic/h24_radiologic_46.pdf
- 18) 佐藤 守. 2014. 休眠期に汚染された落葉果樹における放射性セシウム移行メカニズムと吸収抑制対策. 日土肥誌. 85: 103-106.
- 19) Sato, M., Takata, D., Tanoi, K., Ohtsuki, T., Muramatsu, Y. 2015. Radiocesium transfer into the fruit of deciduous fruit trees contaminated during dormancy. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 61: 156-164.
- 20) 佐藤 守, 高瀬つぎ子, 寺島顕一、小林奈津子、田野井慶太郎, 山口克彦. 2018. 樹種, 着果数および汚染葉の位置が葉から果実への放射性セシウム移行に及ぼす影響. 園芸学研究. 第17巻別冊1. 88.
- 21) 佐藤真理, 関澤春仁, 村上敏文, 八戸真弓, 濱松潮香. 2016. あんぽ柿干場の放射性セシウム汚染状況及び干場における二次汚染リスク. 福島県農業総合センター研究報告. 放射性物質対策特集 第2号. 1-6.
- 22) 傍島善次, 石田雅士, 稲葉昭次, 増井敬治. 1976. カキ果実の発育に関する研究 Ⅲ 同化物質の転流ならびに蓄積について. 京都府立大学学術報告. 農学. 28: 18-23.
- 23) 田上恵子, 内田滋夫. 2014. カキの果実及び葉中の放射性セシウムの濃度の比較－2011年春～2013年夏までの結果－. *RADIOISOTOPES*. 63: 87-92.
- 24) 田上恵子, 内田滋夫. 2016. 落葉樹の葉中の放射性セシウム濃度の季節変化. 第17回環境放射能研究会要旨集. 72-76.
- 25) 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. 2012a. 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第2報) —福島第一原子力発電所事故当年における土壌からの放射性Csの移行について—. *RADIOISOTOPES*. 61: 517-521.
- 26) 高田大輔, 安永円理子, 田野井慶太郎, 中西友子, 佐々木治人, 大下誠一. 2012b. 放射性降下物に起因した果樹樹体内放射性核種の分布 (第4報) —モモ樹体内における放射性セシウム含量とその分布について—. *RADIOISOTOPES*. 61: 607-612.
- 27) 高田大輔, 市川恭子, 佐藤 守, 阿部和博, 小林奈通子, 田野井慶太郎, 安永円理子. 2016. モモ樹体内における放射性Csの再分配について. 第17回環境放射能研究会要旨集. 105-110.
- 28) 丹治克男, 関澤春仁. 2012. あんぽ柿加工と放射性セシウム濃度. 福島県平成23年度放射線関連支援技術情報. http://www4.pref.fukushima.jp/nougyou-centre/kenkyuseika/h23_radiologic_seika/h23_radiologic_14.pdf

